

永久磁石を用いたモバイル MRI の開発 [大会長賞記録]

木村 武史¹, 下家 祐人², 巨瀬 勝美¹, 寺田 康彦¹,
拜 師 智之³, 富 樫 数馬³, 弦 間 洋⁴, 瀬古澤由彦⁴

¹筑波大学数理物質科学研究科電子・物理工学専攻 ²同理工学群応用理工学類

³同農林技術センター ⁴㈱エム・アール・テクノロジー

はじめに

樹木の病害や生理を研究する上で、樹木内部の構造に入り込んだ水の状態や分布、拡散や移動を計測することは極めて重要である。そこで、非破壊で植物内部のプロトン分布や拡散現象を計測できる MRI が植物計測の手法として期待されている^{1),2)}。MRI を用いた植物計測は国内外で様々な研究が行われている。しかし、MRI 装置の可搬性から、いずれも室内での計測に限られ、樹木の一部を切断するか比較的小さな樹木を鉢植えに植え替えて MRI 計測する方法が用いられている^{3),4)}。そのため、比較的大きな樹木に関しては、屋外に育成していた状態、環境下での計測ができなかった。植物は、日照、土壤に含まれる水分量、気温、湿度などの環境変化に大きく影響を受けるため、関心のある野外植物をその場で計測できる MRI が望まれていた。そこで、本研究では屋外へ容易に移動でき、あらゆる撮像姿勢に対応できる樹木用 MRI システムを開発し、屋外に育成する樹木の撮像および樹木内部の水の流れを計測することを目的とした。

ハードウェア

1. システムの全体像

静磁場系には U 字型の永久磁石（静磁場強

度 0.3T、ギャップ幅 80 mm、重量 60 kg）を用いており、樹木が高所の位置にあっても撮像可能のようにハンドリフトに磁石を搭載して地面から 160 cm までの位置まで昇降可能とした。また、樹木の方位が任意の角度、向きであっても磁石が対応できるように、磁石を水平軸と鉛直軸の周りに回転できるようにし、さらに、その回転ステージを、水平の二つの直交する方向に自由に平行移動できるステージの上に搭載した。これにより撮像姿勢の自由度が大幅に向上した。さらに、システム全体の移動を容易にするために電動台車にハンドリフトと磁石を搭載することでシステム全体が自走する仕様とした (Fig. 1)。



Fig. 1. MRI using a 0.3T permanent magnet for tree measurement

キーワード MRI, tree, ADC, sap flow, mobile

2. RFプローブ

RF コイルは樹木を傷つけないように測定部位をスポンジ状のシートで保護し、その上から $\phi 1.5$ mm 被覆銅線でソレノイドコイルを巻いて作成した。これをシールドボックスに納め、ボックス内に LC 共振回路を構成した (Fig. 2)。また、外来ノイズの影響を抑えるため測定部位周辺をシールドクロスで覆った。

性能評価実験

筑波大学農林技術センター内の梨園で本システムの有用性を示すため梨の樹木の計測を行い、以下の項目について検討した。

- ①健全な樹木で ADC map, 密度画像を作成し評価。
- ②病害 (委縮症) を有した樹木で ADC map, 密度画像を作成し健全樹と比較。
- ③24 時間連続 (2 時間おきに計測) で健全樹の ADC を計測し日照との相関を評価。

計測対象として健全に育成している樹木, 樹木病害 (委縮症) を発症した樹木を選び, 直径約 21 mm, 地面から 160 cm に育成しているものを選んだ。委縮症とは, 樹木の成長が極端に



Fig. 2. RF coil and Shield BOX. RF probe was installed in the tree

遅れ, やがて枯死する樹木病害の一種でどのような原因で発症するのか解明されておらず近年増加傾向にある。

使用したシーケンスは, TR = 800 ms, TE = 22 ms, スライス厚 10 mm, 画像マトリックス数 1282, FOV = (25.6 mm) ², の 2DSE シーケンスにスライス方向の MPG (motion probing gradient) を印加したものをを用いた。

実験結果

Fig. 3 に健全な樹木の ADC map と密度画像, Fig. 4 に病害 (委縮症) を発症した樹木の ADC map と密度画像を示す。なお, 画像内での重力方向は右→左側であり, 年輪が偏心していることが分かる。Fig. 5 に辺材と髓の部分の ADC 値と日照度の関係をグラフにした 24 時間連続計測の結果を示す。

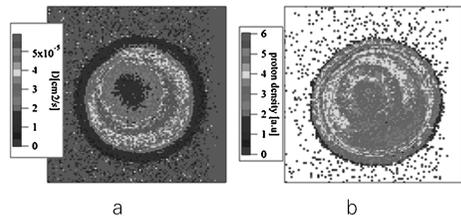


Fig. 3. ADC map (a) and density map (b) of the intact tree

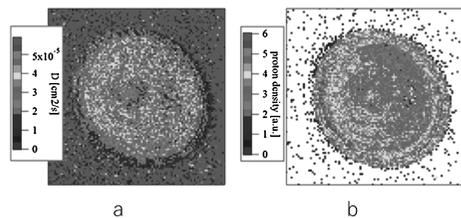


Fig. 4. ADC map (a) and density map (b) of the infected tree

2010 年 11 月 5 日受理

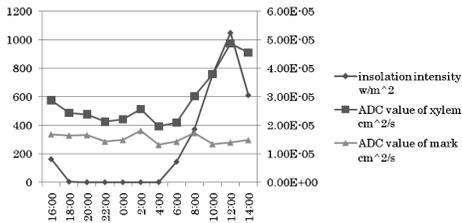


Fig. 5. Correlation of sap flow with insolation intensity

考 察

Fig. 3(a)から水を運ぶ役割を果たす導管が多数存在する辺材部で高いADC値を示しているが、水の運搬とは関係のない髄や樹皮では低いADC値を示している。また、密度画像からは形成層が確認できる。よって、ADC mapと密度画像を用いれば樹木内部の組織が明瞭に区別できることが分かる。

病害（委縮症）を発症した樹木と健全樹のADC mapを比較すると、病害樹の方は辺材部であっても高いADC値を示している部位は確認できず、樹木組織の機能が低下していることが分かる。

24時間計測の結果から、辺材部で日照のない18:00から04:00にかけてADC値は低下しほとんど変化しないが、日の出後の日照度の上昇と対応してADC値も高い値を示すことが分かる。一方、水の運搬に寄与しない髄の

ADC値は一日を通してほぼ一定値を示していることが分かる。

む す び

屋外で樹木の撮像に使用できる自走式モバイルMRIを開発し、有用性を確認するために屋外の梨園で計測実験を行い、樹木の拡散イメージングを行い確からしい結果を得ることができた。

今後はより長期間（一週間）の計測を自動で行えるシステムの開発を行っていく方針である。

文 献

- 1) 宇津澤慎. 植物用MRI. 巨瀬勝美編著. コンパクトMRI. 初版. 東京: 共立出版, 2004; 153-172
- 2) Utsuzawa S, Fukuda K, Sakaue D: Use of magnetic resonance microscopy for the nondestructive observation of xylem cavitation caused by pine wilt disease. *Phytopathology* 2005, 95; 737-743
- 3) Van As H: Intact plant MRI for the study of cell water relations, membrane permeability, cell-to-cell and long distance water transport. *J Exp Bot* 2006, 58; 743-756
- 4) Oven P, Merela M, Mikac U: 3D magnetic resonance microscopy of a wounded beech branch. *Holzforchung* 2008, 62; 322-328

Development of a Self-propelled Mobile MR Imaging System for Trees
[Presidential Award Proceedings]

Takeshi KIMURA¹, Yuto GEYA², Katsumi KOSE¹,
Yasuhiko TERADA¹, Tomoyuki HAISHI³, Kazuma TOGASHI³,
Hiroshi GEMMA⁴, Yoshihiko SEKOZAWA⁴

¹*Institute of Applied Physics, ²College of Engineering Sciences,*
⁴*Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba*
1-1-1, Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8573
³*MR Technology, Inc.*

We developed a compact magnetic resonance (MR) imaging system with a 0.3-tesla permanent magnet that can be moved electrically. Flexible rotation of the magnet around a vertical axis and a horizontal axis permits measurement of any branch, regardless of its natural orientation. We measured the apparent diffusion constant (ADC) and water content of a branch of a pear tree at a fruit farm for an entire day and clearly observed variation of the ADC highly associated with the amount of the sunlight. Thus, we conclude our electrically mobile MR imaging system has great promise as a tool for research of trees.